

Faszination Akustik

Öffentliche Ringvorlesung im Studium Integrale der TU Braunschweig

13.5.2015, Schleinitzstraße 19, Hörsaal SN 19.2

Aktive Paneele zur Reduktion von Breitbandlärm in Innenräumen

Dr.-Ing. Malte Misol, Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, DLR Braunschweig

Prof. Dr.-Ing. Hans Peter Monner, Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, DLR Braunschweig

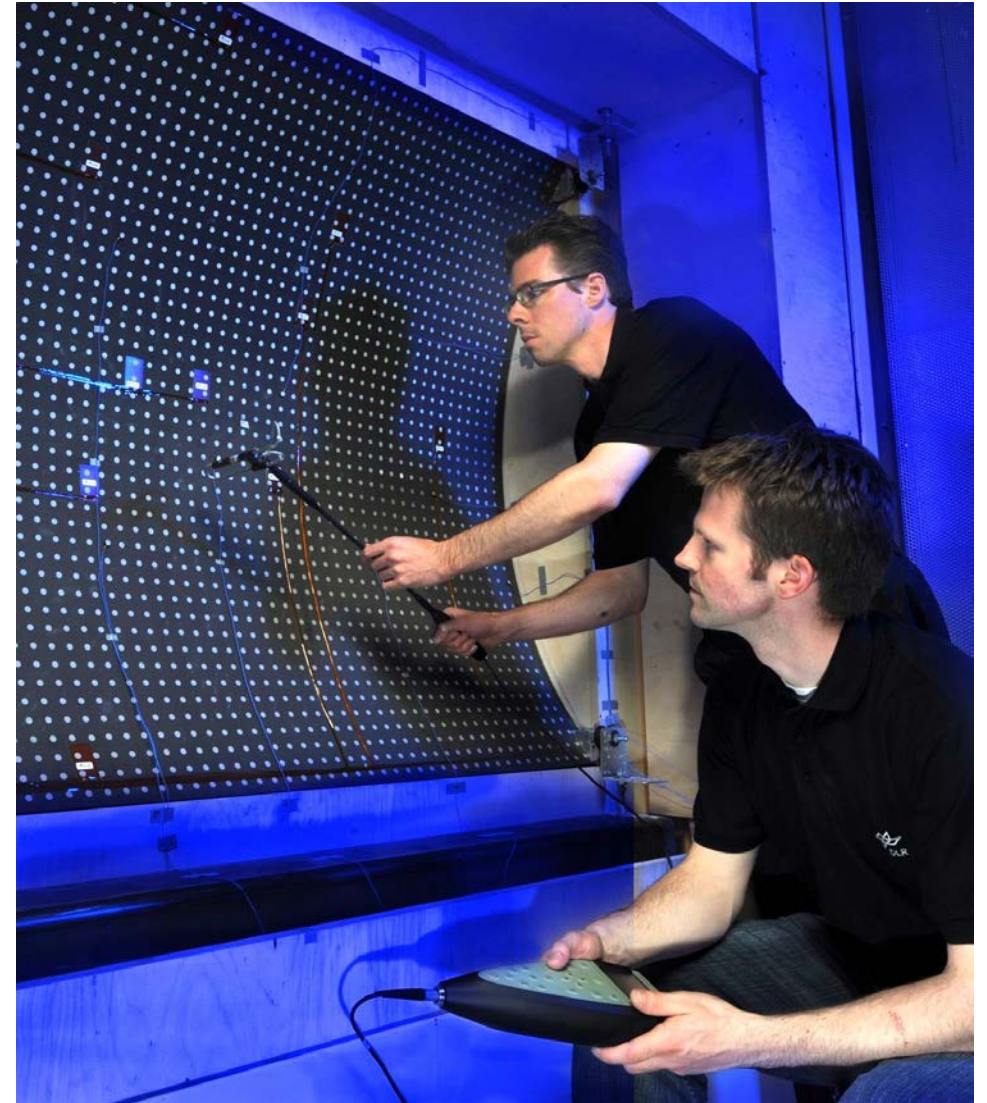
Prof. Dr.-Ing. Michael Sinapius, Institut für Adaptronik und Funktionsintegration, TU Braunschweig



Wissen für Morgen

Gliederung

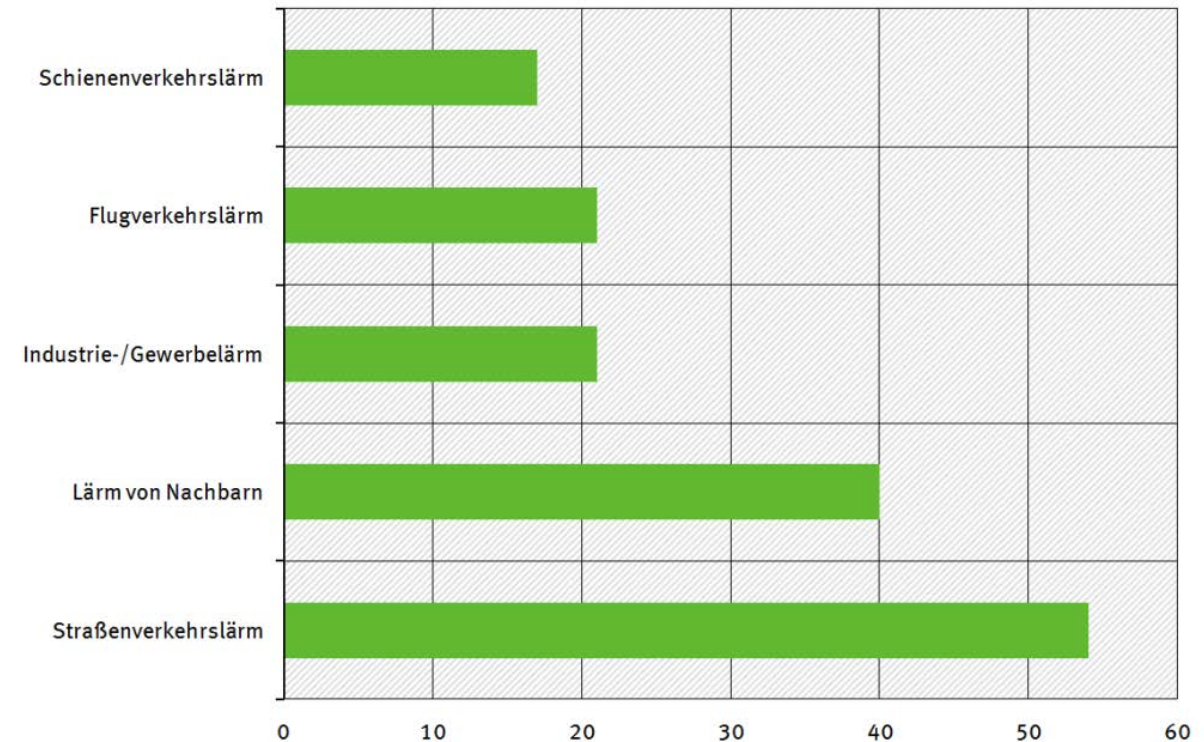
- Worum geht es?
- Theorie
 - Maßnahmen zur Lärmreduktion
 - Schallabstrahlung und Schalltransmission
 - Aktive Paneele
- Beispiele aus der Anwendungsforschung
 - Automotive
 - Luftfahrt
- Fazit
- Experiment



Schall- und Lärmproblematik

- Schall, der als störend empfunden wird und/oder dem Menschen schadet, wird als Lärm bezeichnet.
- Die Lärmempfindung ist hochgradig subjektiv und kontextabhängig (z. B. Musik: Jazz/Pop/Rock/...)
- Nicht nur hohe sondern auch mittlere Pegel sind schädlich
- Lärm macht krank und verursacht Kosten in Milliardenhöhe (z.B. ~9,1 Mrd. Euro/Jahr allein durch Straßenverkehrslärm¹⁾)
- Der Lärm in unserer hoch technisierten Gesellschaft entsteht häufig durch schwingende Strukturen (Industrieanlagen, Flug-, Zug- und Straßenverkehr).

Lärmbelästigung in Deutschland (in %)



¹K. Giering, Was kostet uns der Lärm? Monetäre Bewertung von Straßenverkehrslärm (2010)
http://www.nua.nrw.de/fileadmin/user_upload/NUA/Veranstaltungen/Veranstaltungsberichte/2010-06-10%20EU-Umgebungs%20richtlinie/Vortrag%20A4ge/laermkosten_giering.pdf (Abruf: Mai 2015)

<http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkungen>



Schall- und Lärmproblematik

- Schall, der als störend empfunden wird und/oder dem Menschen schadet, wird als Lärm bezeichnet.
- Die Lärmempfindung ist hochgradig subjektiv und kontextabhängig (z. B. Musik: Jazz/Pop/Rock/...)
- Nicht nur hohe sondern auch mittlere Pegel sind schädlich
- Lärm macht krank und verursacht Kosten in Milliardenhöhe (z.B. ~9,1 Mrd. Euro/Jahr allein durch Straßenverkehrslärm¹)
- Der Lärm in unserer hoch technisierten Gesellschaft entsteht häufig durch schwingende Strukturen (Industrieanlagen, Flug-, Zug- und Straßenverkehr).

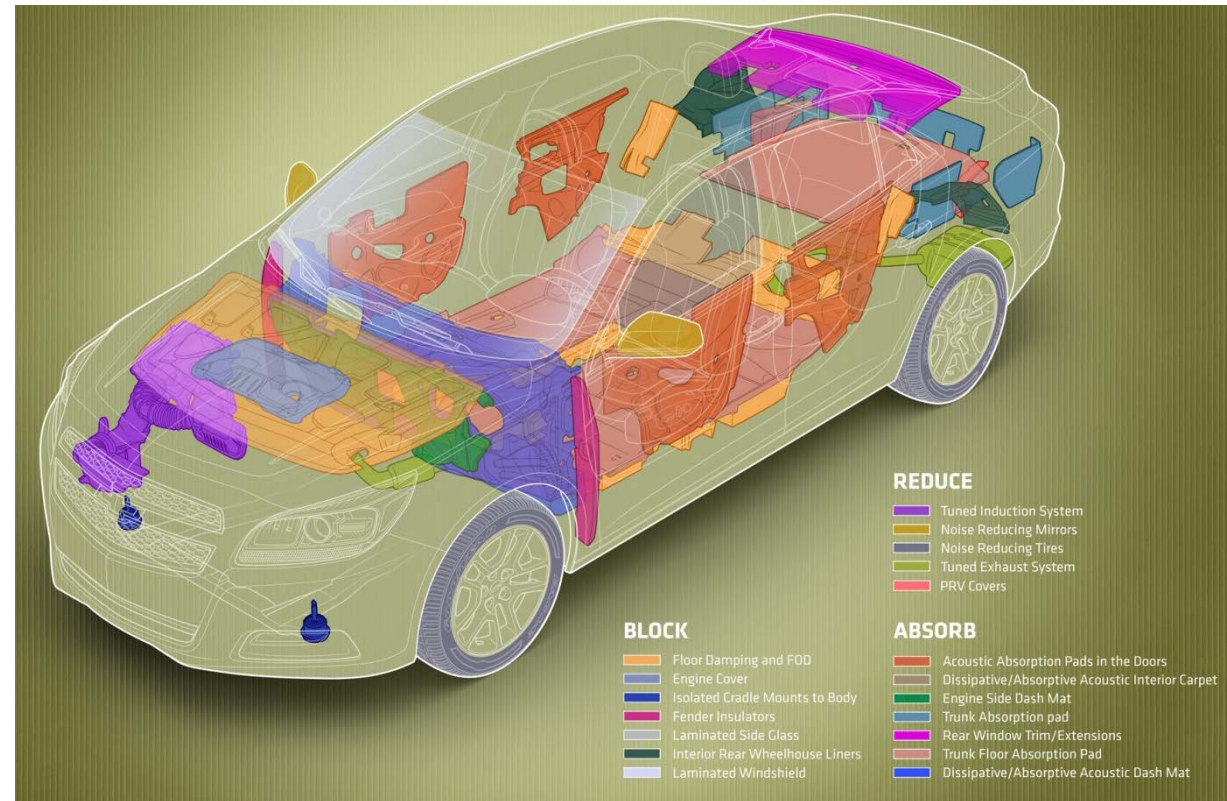


¹K. Giering, *Was kostet uns der Lärm? Monetäre Bewertung von Straßenverkehrslärm* (2010)
http://www.nua.nrw.de/fileadmin/user_upload/NUA/Veranstaltungen/Veranstaltungsberichte/2010-06-10%20EU-Umgebungsrichtlinie/Vortrag%20A4ge/laermkosten_giering.pdf (Abruf: Mai 2015)

<http://petergowesky.com> / <https://airportonomy.files.wordpress.com/> /
<http://europa.deutschlandfunk.de> (von links oben nach unten)

Akustik als Komfortparameter von Produkten

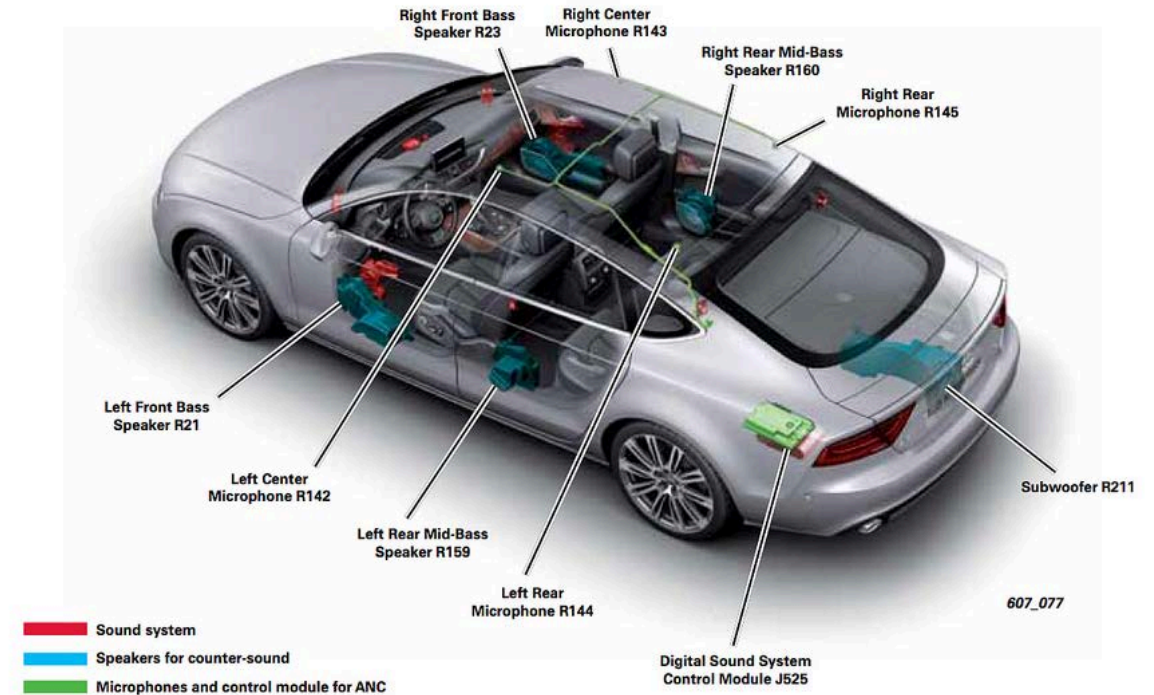
- Erheblicher Aufwand zur Verbesserung der Akustik im Fahrgastraum durch den Einsatz konstruktiver und passiver Maßnahmen
- Aktive Maßnahmen nach dem Gegenschall-Prinzip (ANC) sind bereits im Einsatz
- Die Wirkung des ANC-Systems ist meist auf tonhaltige Störanteile beschränkt
- Schwingende Flächen (z.B. Verglasungen) wirken als Schalltransmissionspfade für fahrzeuginterne und –externe Störquellen
- Aktive strukturakustische Maßnahmen können diese Vibrationen adaptiv und flexibel beeinflussen (breitbandig, situationsbezogen, fahrerbezogen, ...)



<http://www.chevroletinthenews.com>

Akustik als Komfortparameter von Produkten

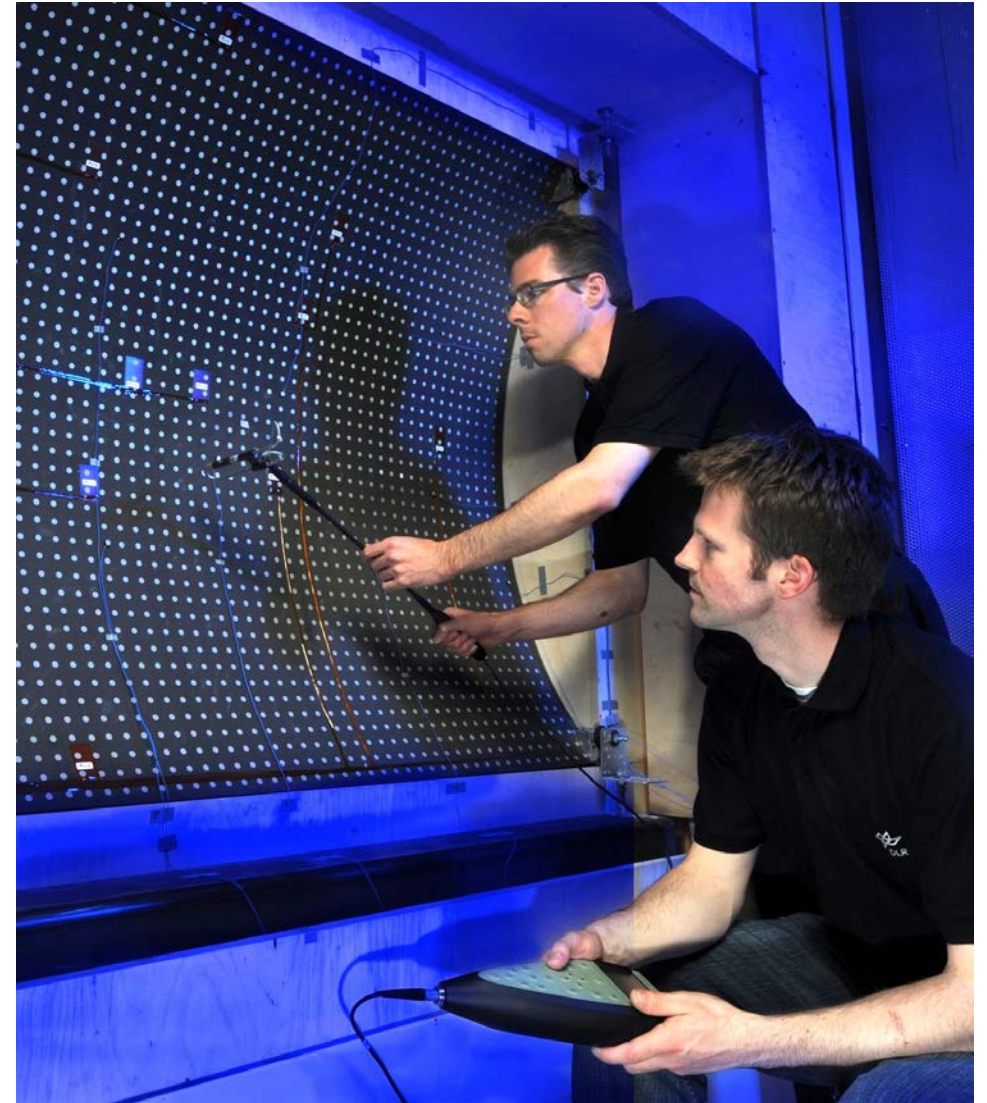
- Erheblicher Aufwand zur Verbesserung der Akustik im Fahrgastraum durch den Einsatz konstruktiver und passiver Maßnahmen
- Aktive Maßnahmen nach dem Gegenschall-Prinzip (ANC) sind bereits im Einsatz
- Die Wirkung des ANC-Systems ist meist auf tonhaltige Störanteile beschränkt
- Schwingende Flächen (z.B. Verglasungen) wirken als Schalltransmissionspfade für fahrzeuginterne und –externe Störquellen
- Aktive strukturakustische Maßnahmen können diese Vibrationen adaptiv und flexibel beeinflussen (breitbandig, situationsbezogen, fahrerbezogen, ...)



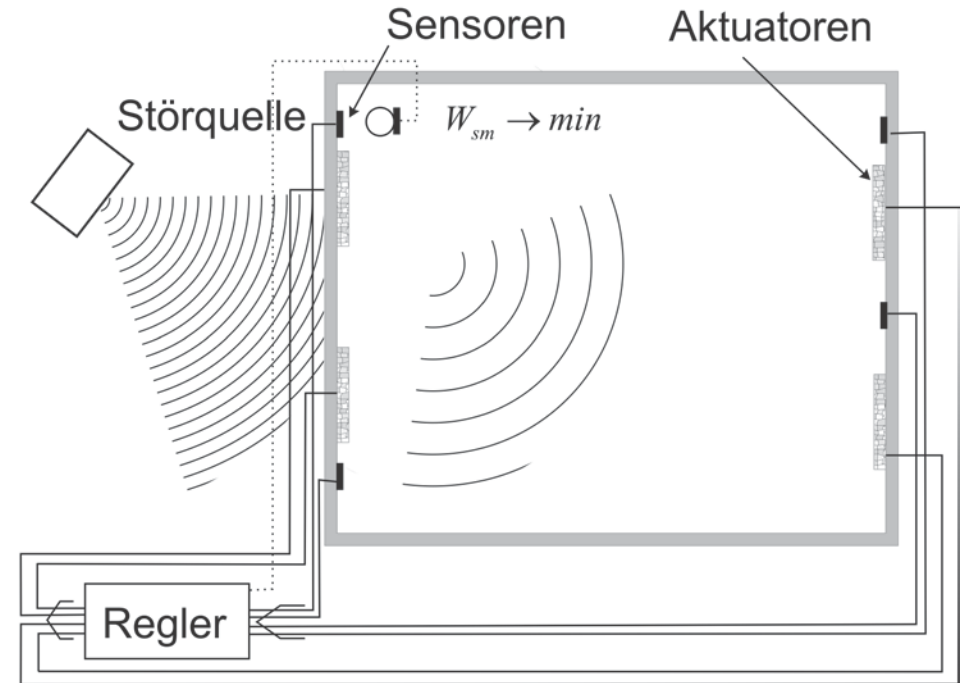
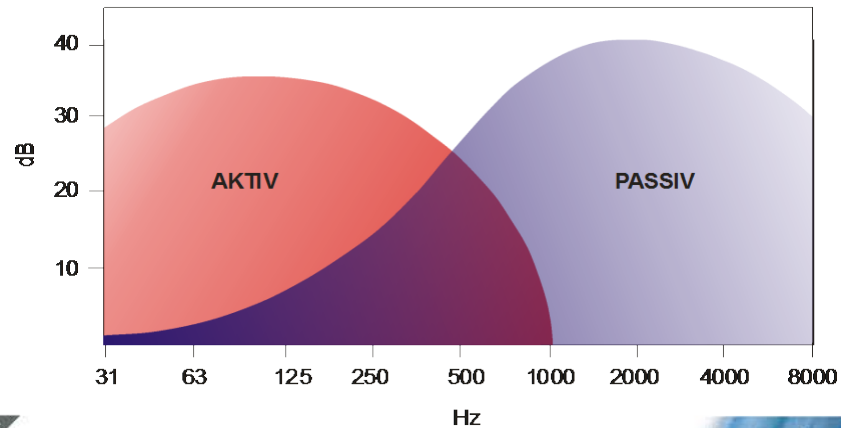
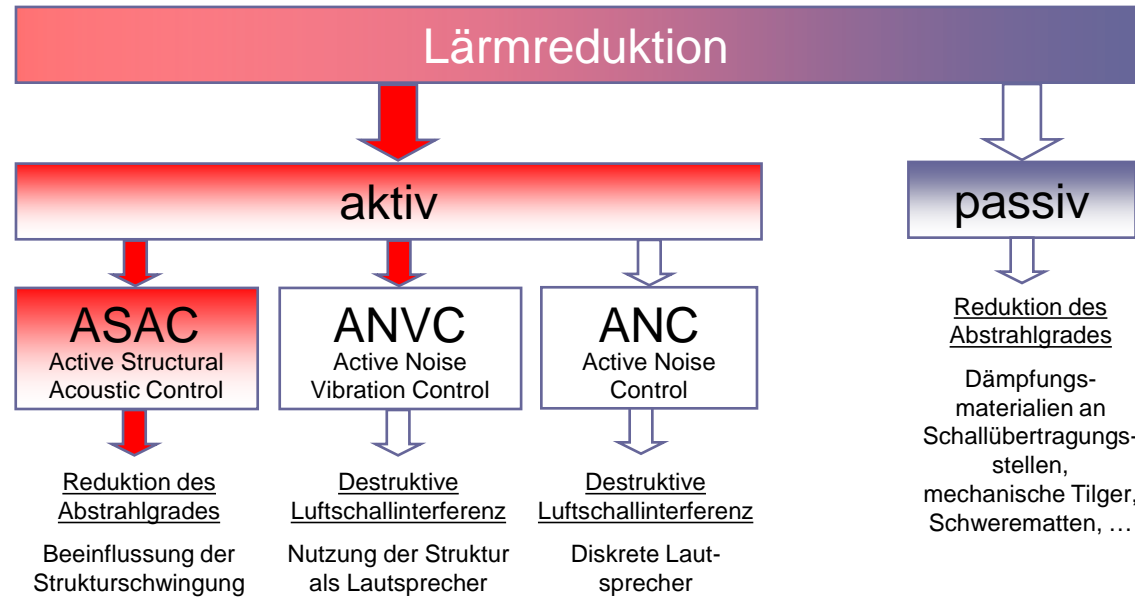
<http://farm4.staticflickr.com>

Gliederung

- Worum geht es?
- Theorie
 - Maßnahmen zur Lärmreduktion
 - Schallabstrahlung und Schalltransmission
 - Aktive Paneele
- Beispiele aus der Anwendungsforschung
 - Automotive
 - Luftfahrt
- Fazit
- Experiment

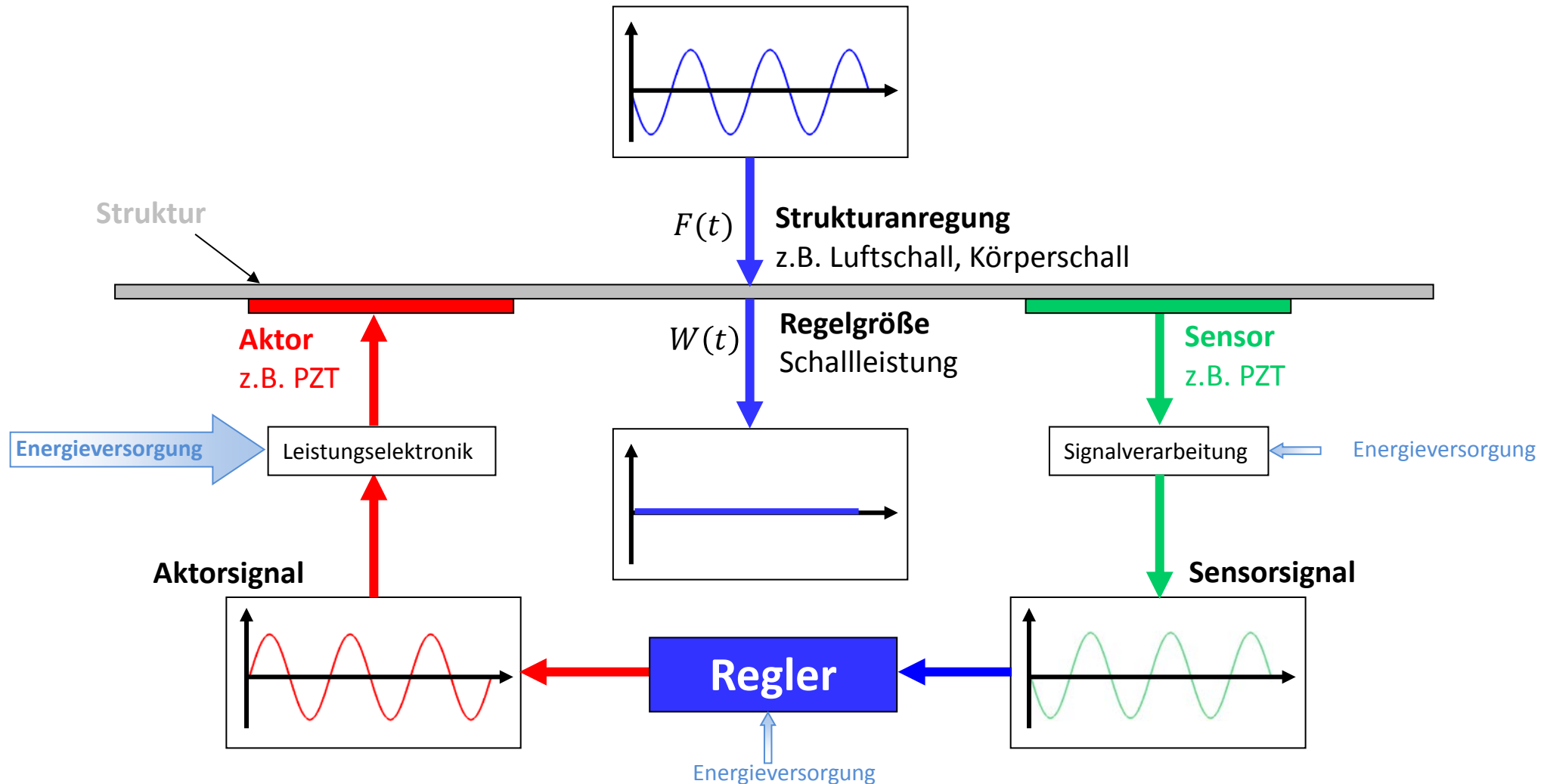


Maßnahmen zur Lärmreduktion



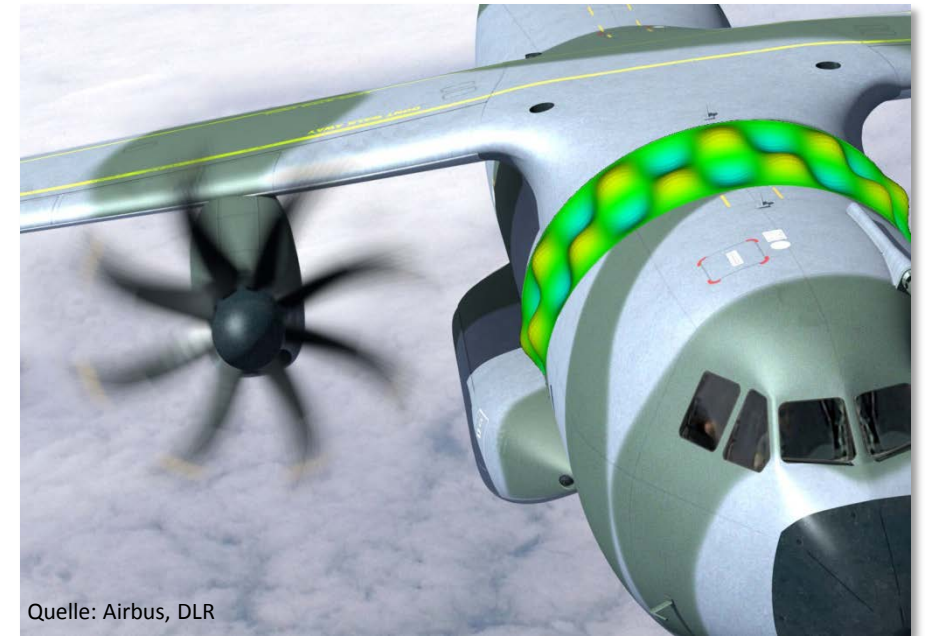
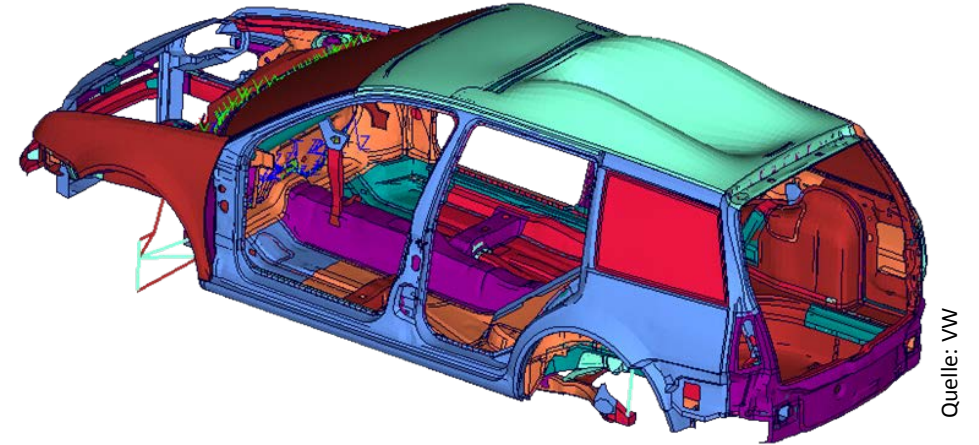
ASAC-Prinzip

Komponenten eines aktiven adaptronischen Gesamtsystems



Kontinuumsschwingungen

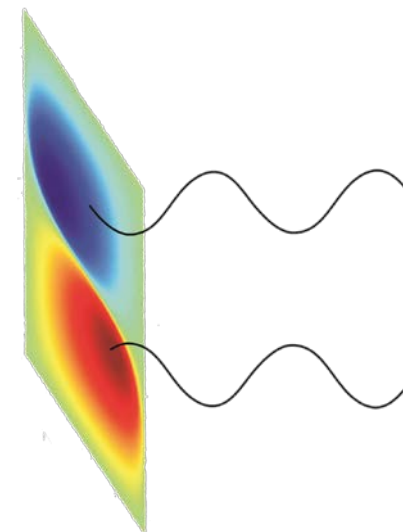
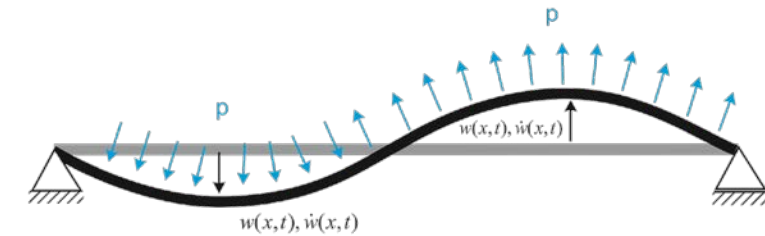
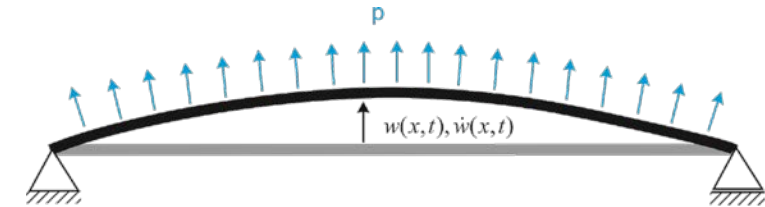
- Biegeschwingungen sind aufgrund ihrer Anregbarkeit durch äußere Störungen und ihres akustischen Verhaltens von besonderer Relevanz
- Bei Resonanzen gilt es zwischen akustisch relevanten und nicht relevanten Schwingungen zu unterscheiden.
- Dünnwandige, flächige Leichtbaustrukturen sind besonders schwingungsanfällig und stellen Lärmquellen dar.
- Strukturen schwingen in der Resonanz mit sog. Eigenformen, die auch häufig als Moden bezeichnet werden.



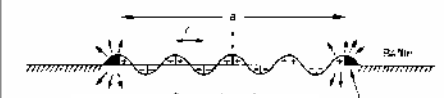
Beispiele für Eigenformen/Moden

Schallabstrahlung von Plattenmoden (1)

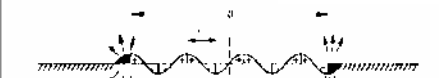
- Gegenphasig schwingende Strukturbereiche können einen Druckausgleich erzeugen.
- Auf Grund des örtlichen Druckausgleichs wird kein oder nur wenig Schall ins Fernfeld abgestrahlt: **Akustischer Kurzschluss**.
- Ein akustischer Kurzschluss ist nur möglich, wenn die Trägheit der Luftmassen einen Druckausgleich zulässt!



Symmetrische
(ungerade) Mode



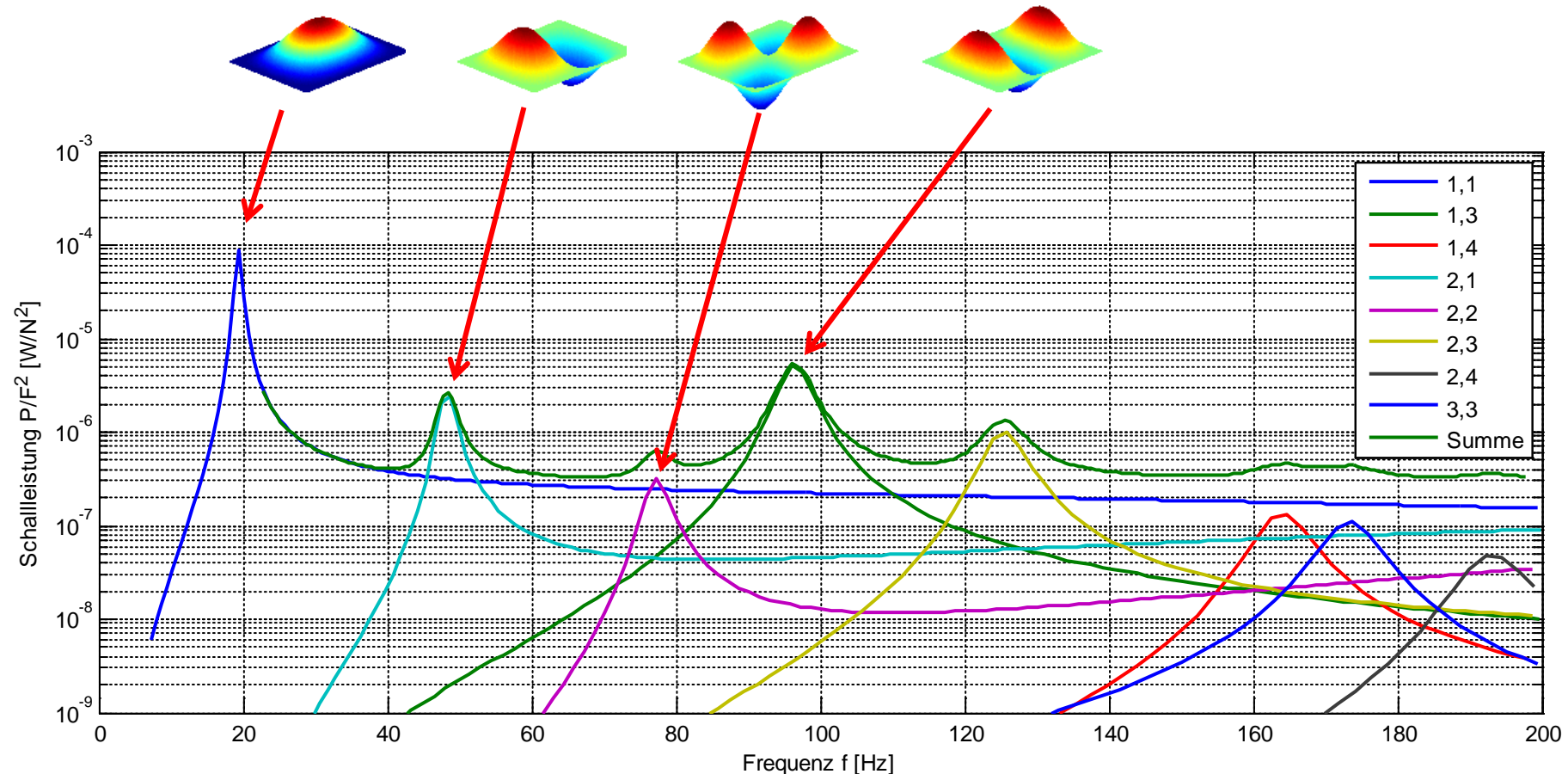
Rest



Unsymmetrische
(gerade) Mode

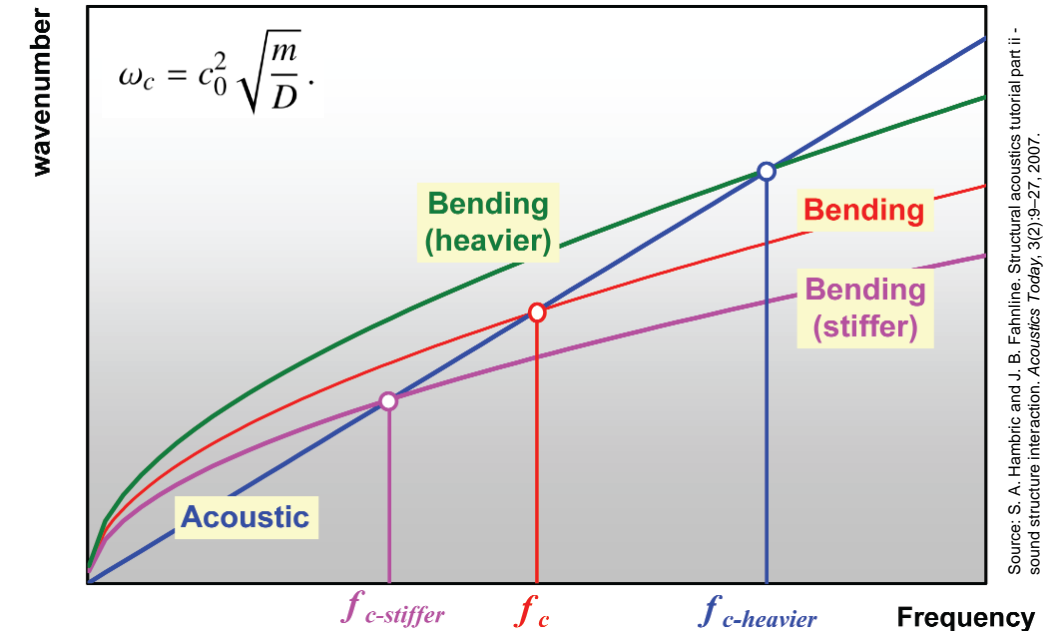
Schallabstrahlung von Plattenmoden (2)

- In den Resonanzen ist die abgestrahlte Schallleistung der Platte häufig erhöht.
- Manche Moden strahlen außerhalb der Resonanz mehr Schallleistung ab als andere Moden in ihrer Resonanz
- *Die gezielte Bedämpfung dieser Moden ist von großer Relevanz (ASAC)*



Schalltransmission in Innenräume durch flächige Struktursysteme (1)

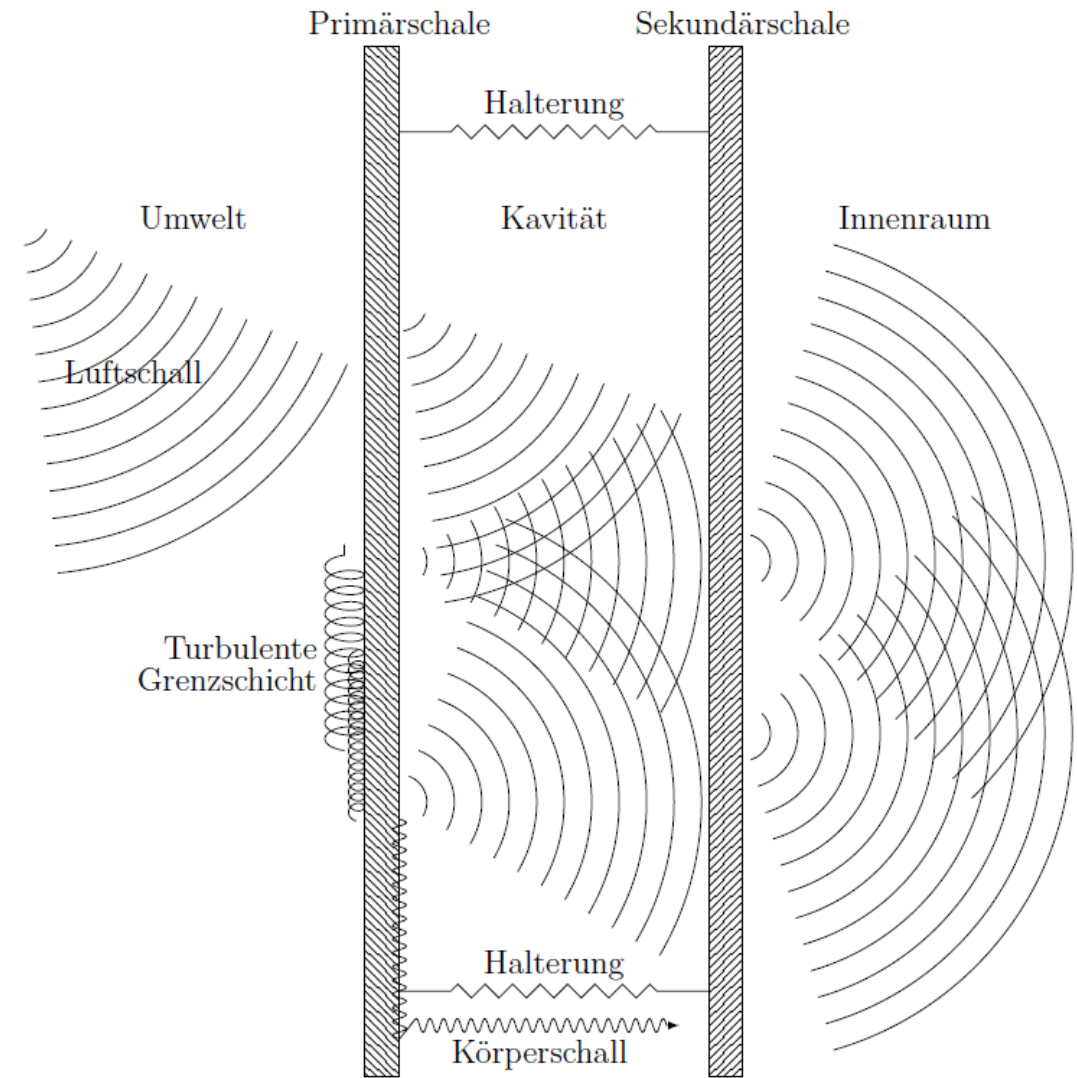
- Massengesetz/Berger'sches Gesetz
 - Schalldämmung erfordert Masse
 - +6 dB bei Verdopplung der flächenbezogenen Masse
- Koinzidenz
 - Koinzidenzfrequenz f_c sollte möglichst hoch sein
 - Anstieg von f_c durch Massenerhöhung und/oder Steifigkeitsreduktion (+)



Schalltransmission in Innenräume durch flächige Struktursysteme (2)

- Doppelschalensystem
 - Höhere Schalldämmung als Einzelschale oberhalb der Masse-Feder-Masse-Resonanzfrequenz f_r
 - Absinken von f_r durch Massenerhöhung (+)
 - Anstieg von f_r durch unterschiedliche Flächenmassen der Einzelschalen (-)

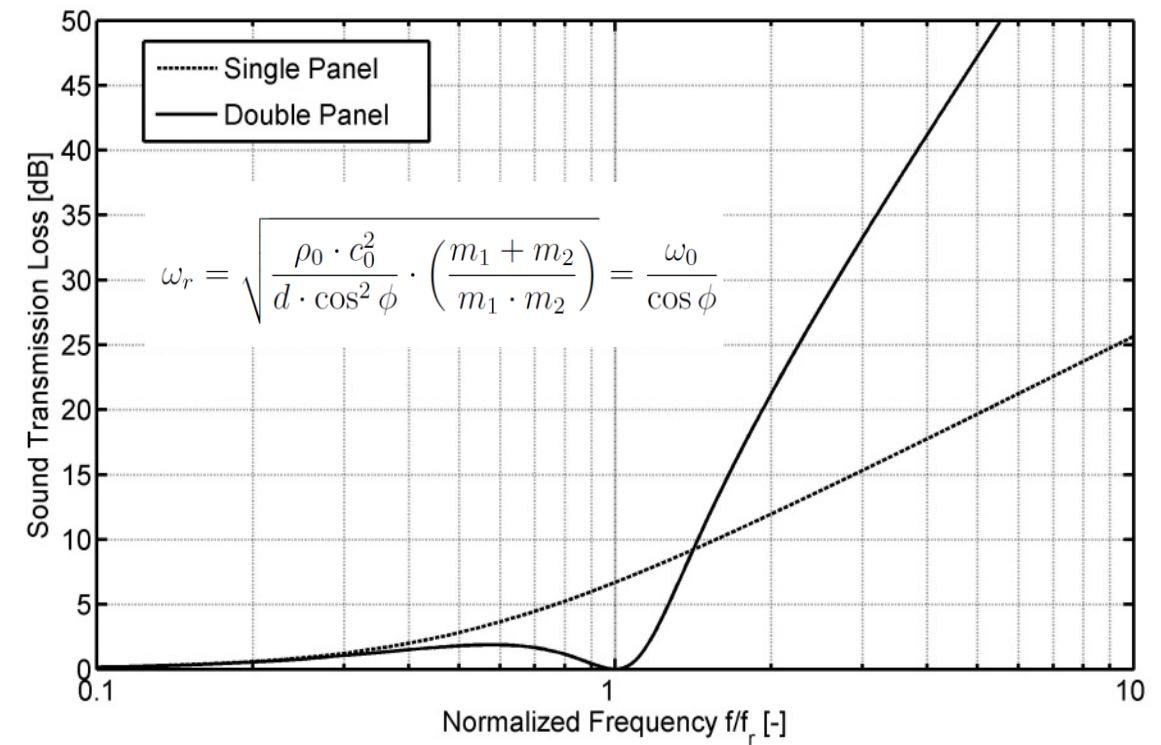
Fazit: Einsatz von Vorsatzschalen ist sinnvoll aber problematisch im Bereich von $f_r \rightarrow$ aktive Maßnahmen



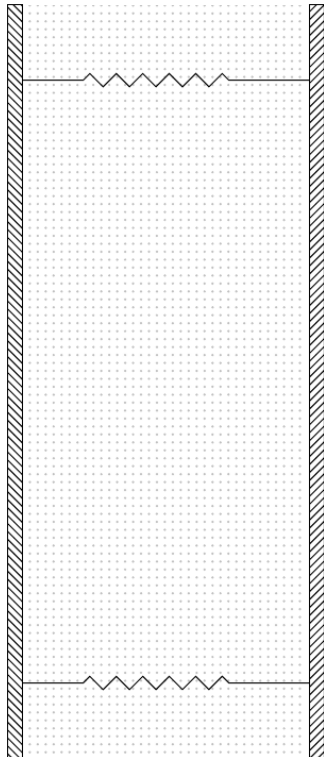
Schalltransmission in Innenräume durch flächige Struktursysteme (2)

- Doppelschalensystem
 - Höhere Schalldämmung als Einzelschale oberhalb der Masse-Feder-Masse-Resonanzfrequenz f_r
 - Absinken von f_r durch Massenerhöhung (+)
 - Anstieg von f_r durch unterschiedliche Flächenmassen der Einzelschalen (-)

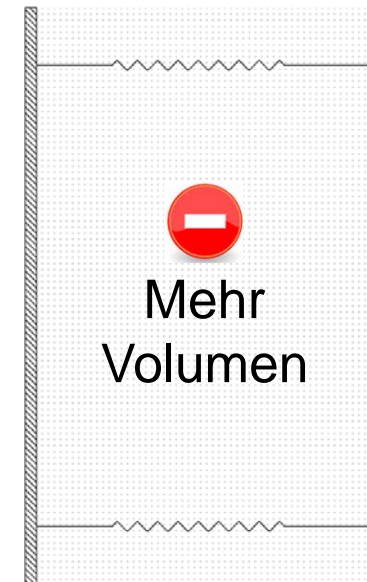
Fazit: Einsatz von Vorsatzschalen ist sinnvoll aber problematisch im Bereich von $f_r \rightarrow$ aktive Maßnahmen



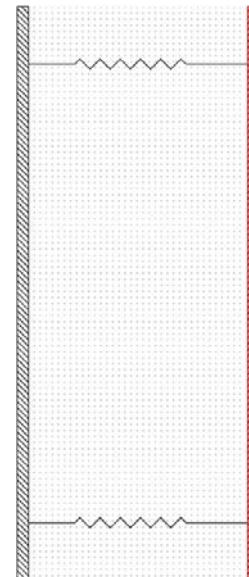
Maßnahmen zur Beeinflussung des Transmissionsverhaltens



Passiv



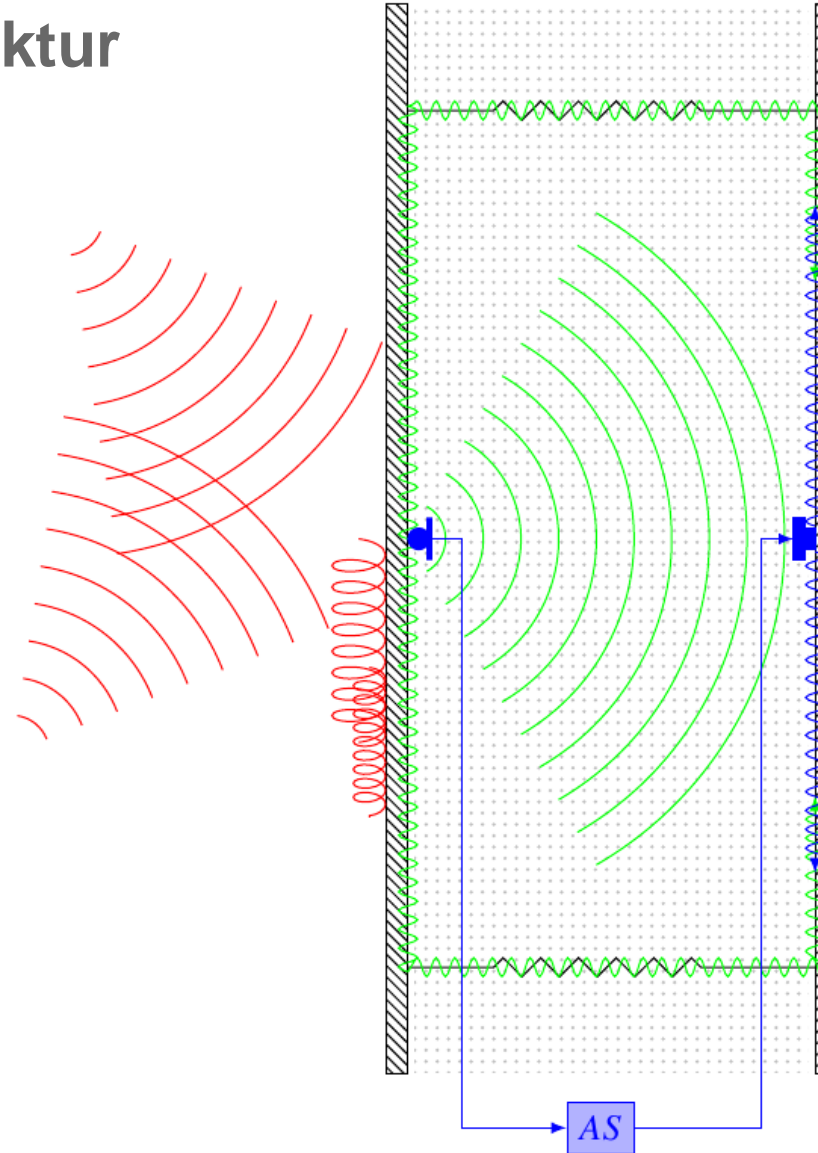
Aktiv



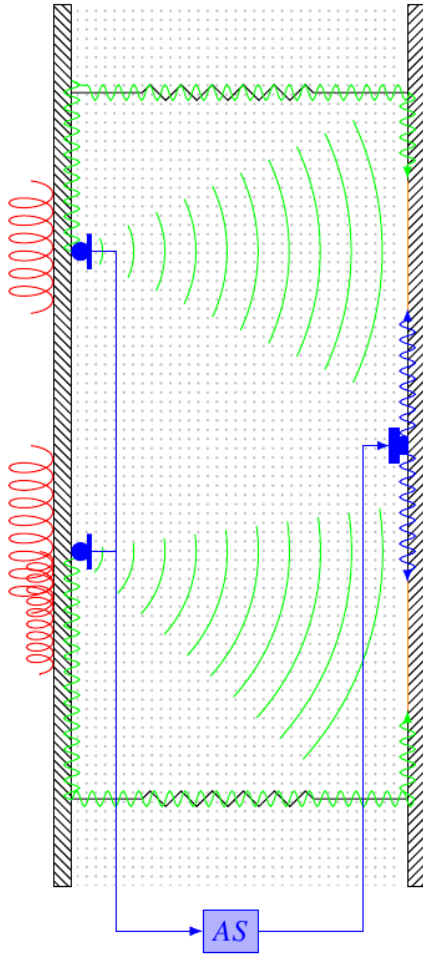
Aktive Primärstruktur
Aktive Kopplungselemente
Aktive Sekundärstruktur

Prinzip einer aktiven Sekundärstruktur

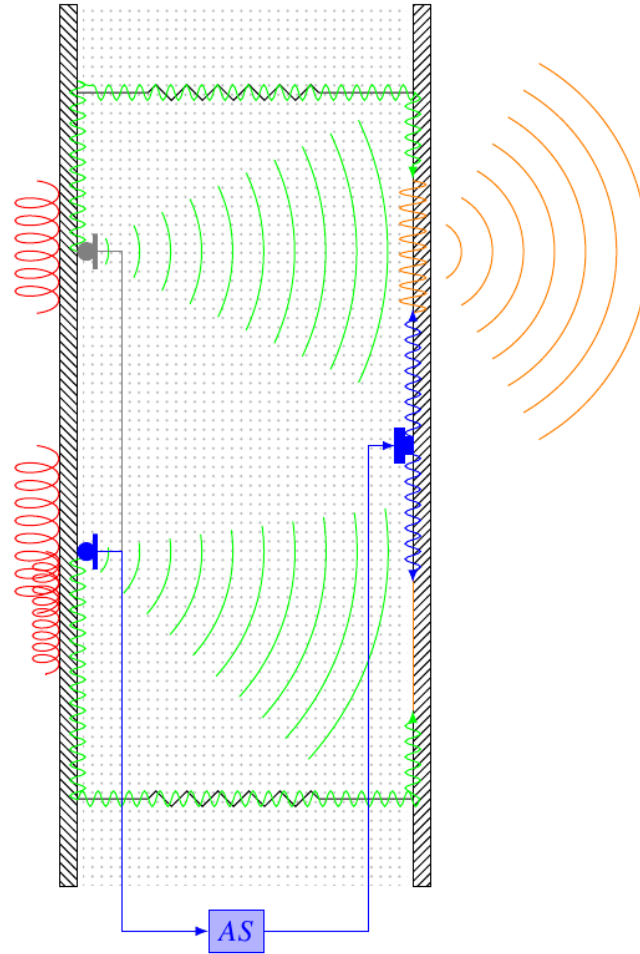
- Störerregung der Primärstruktur
- Sensorische Erfassung der Störung
- Ausbreitung der Störung und Verarbeitung der Sensorinformation durch das aktive System (AS)
- Einleitung von Gegenschwingungen in die Sekundärstruktur
- Auslöschung der Störschwingungen auf der Sekundärstruktur erfordert:
 - Kohärenz und Kausalität



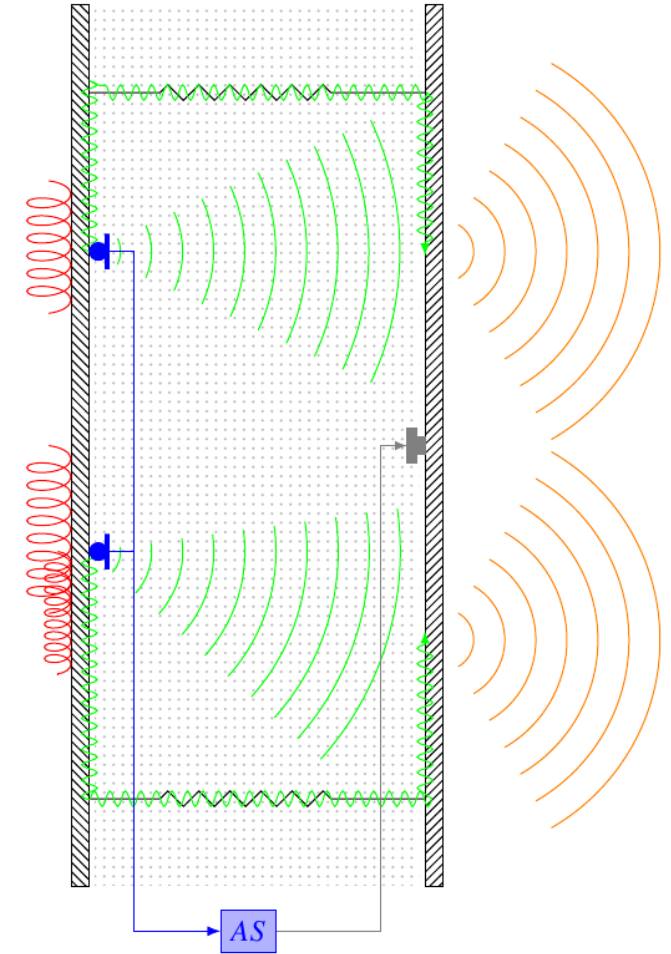
Einfluss von Kohärenz und Kausalität auf das Transmissionsverhalten



kohärent, kausal



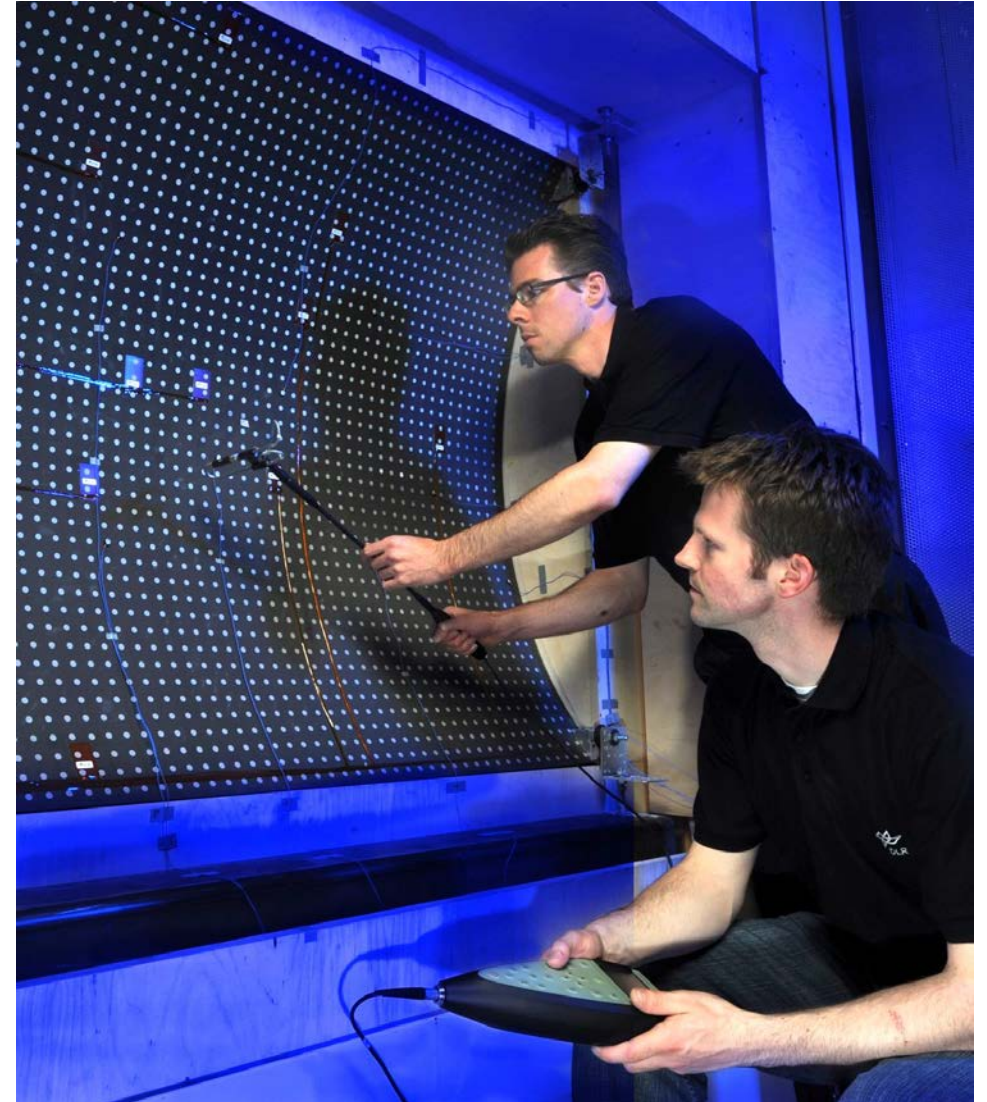
inkohärent, kausal



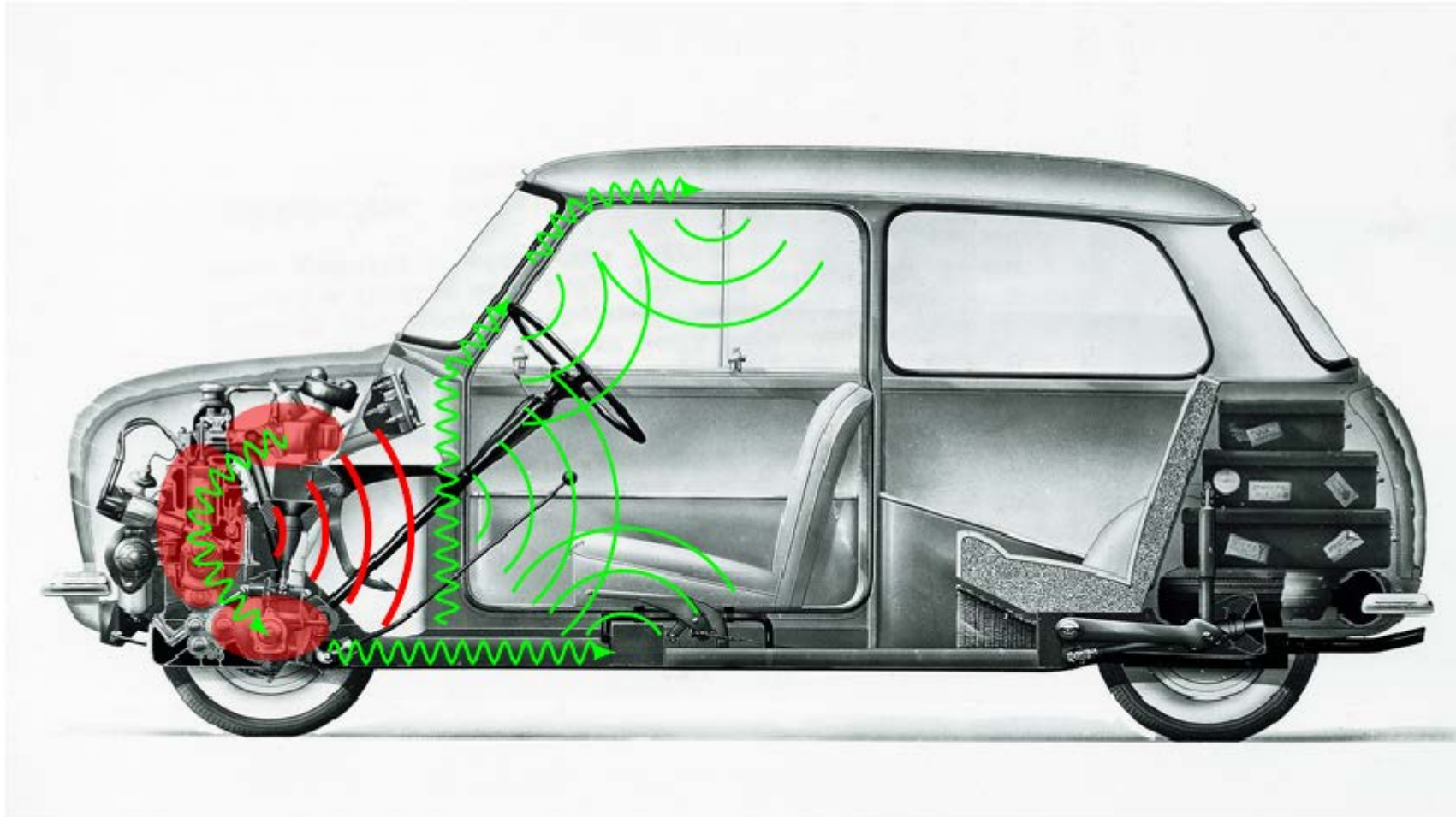
kohärent, akausal

Gliederung

- Worum geht es?
- Theorie
 - Maßnahmen zur Lärmreduktion
 - Schallabstrahlung und Schalltransmission
 - Aktive Paneele
- Beispiele aus der Anwendungsforschung
 - Automotive
 - Luftfahrt
- Fazit
- Experiment

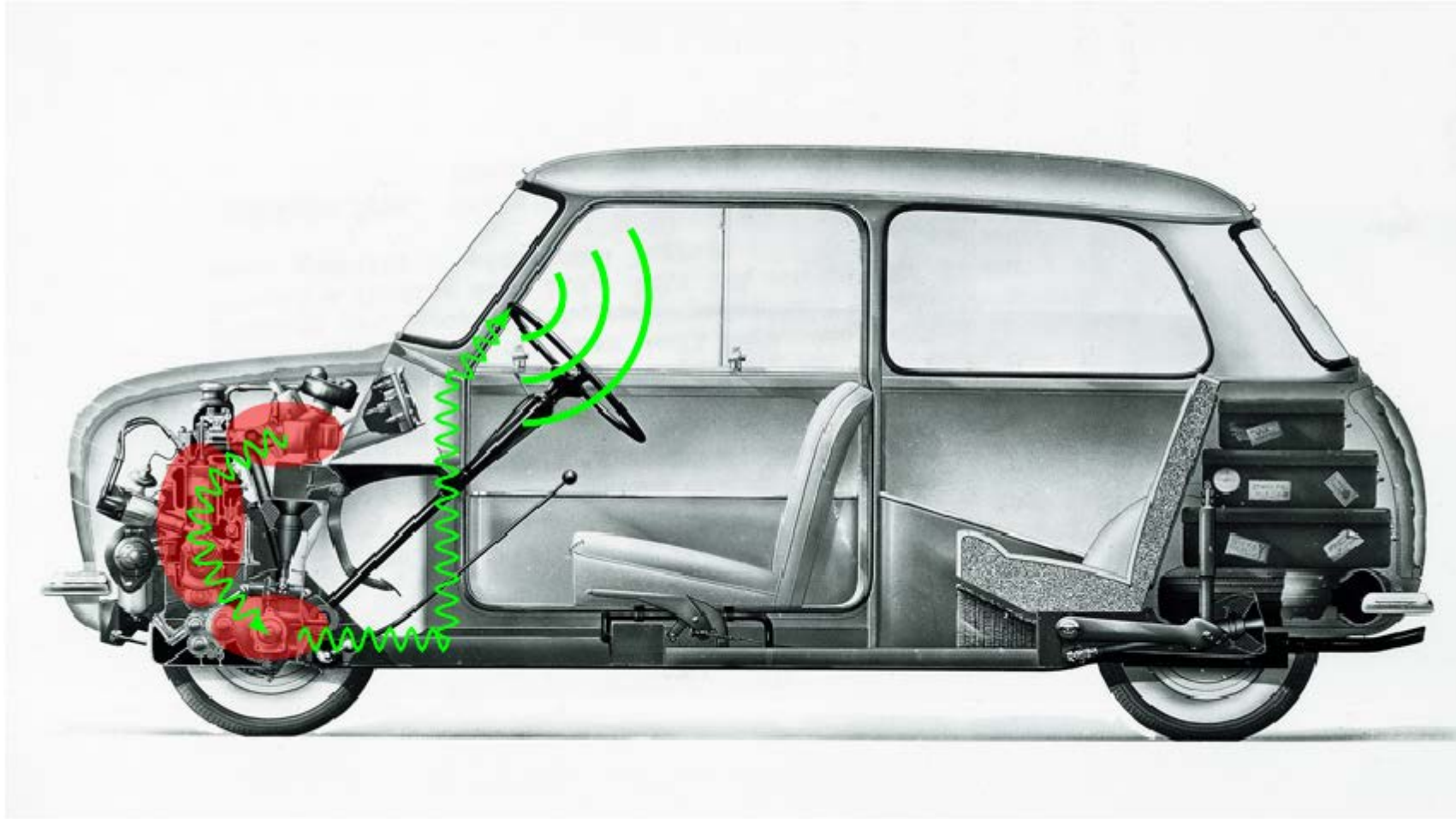


Transmission interner Störquellen in die Fahrgastzelle



Bildquelle: <http://www.carmagazine.co.uk/CAR-Features-2009/...>
Mini-is-50-a-Mini-celebration-by-CAR-writers-/ (ergänzt durch M. Misol)

Transmission interner Störquellen in die Fahrgastzelle – *Frontscheibe*



Bildquelle: <http://www.carmagazine.co.uk/CAR-Features-2009/...>
Mini-is-50-a-Mini-celebration-by-CAR-writers-/ (ergänzt durch M. Misol)

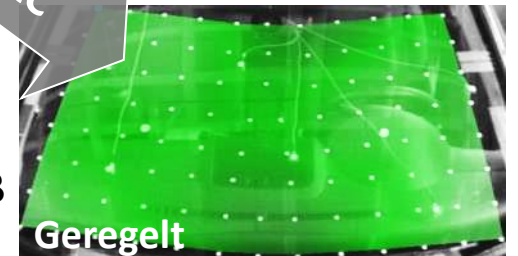
Reduktion der Schallabstrahlung der Frontscheibe durch ASAC (1)

- Beim Konzept des ASAC werden über strukturintegrierte oder applizierte Aktuatoren die schallabstrahlenden Struktureigenformen beeinflusst.
- Ziel: **Minimierung der Schallleistung**
- Beruhigung von tonalen Schwingungen und Breitbandstörungen
- Aktive und semi-aktive Dämpfung durch elektro-mechanische Netzwerke
- Regelung über den Zusammenhang zwischen Strukturschwingung und Schallleistung
- Genaues Modell der Strukturschwingungen erforderlich
- Globale Schallminderung möglich



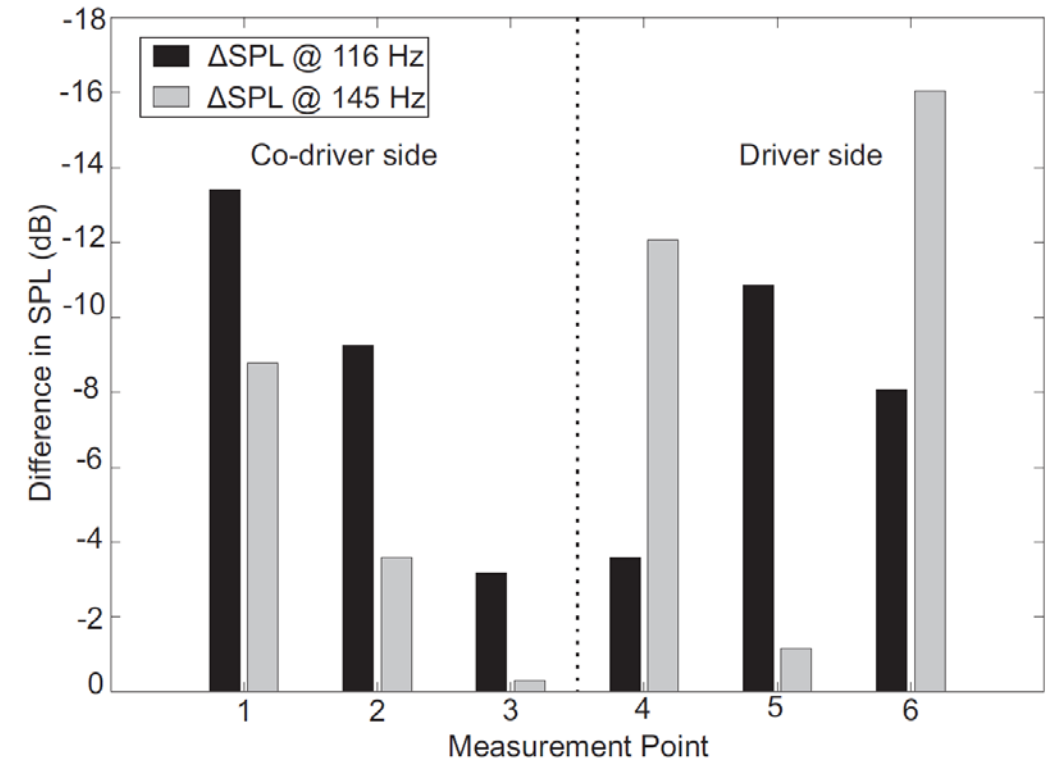
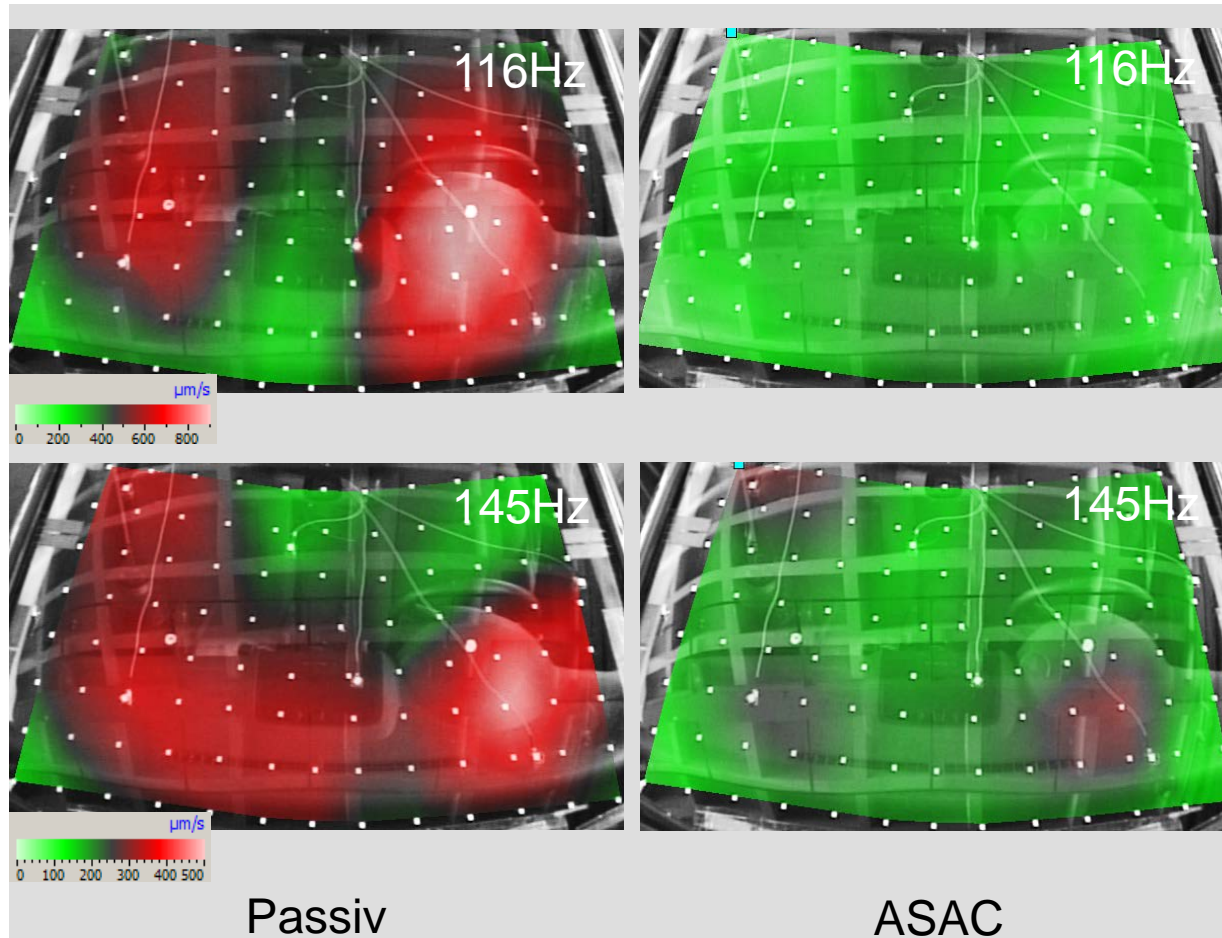
Reduktion der schallabstrahlenden Vibrationen der Scheibe mittels ASAC

Reduktion des Schalldruckpegels im Fahrer- und Beifahrerbereich um bis zu 15 dB



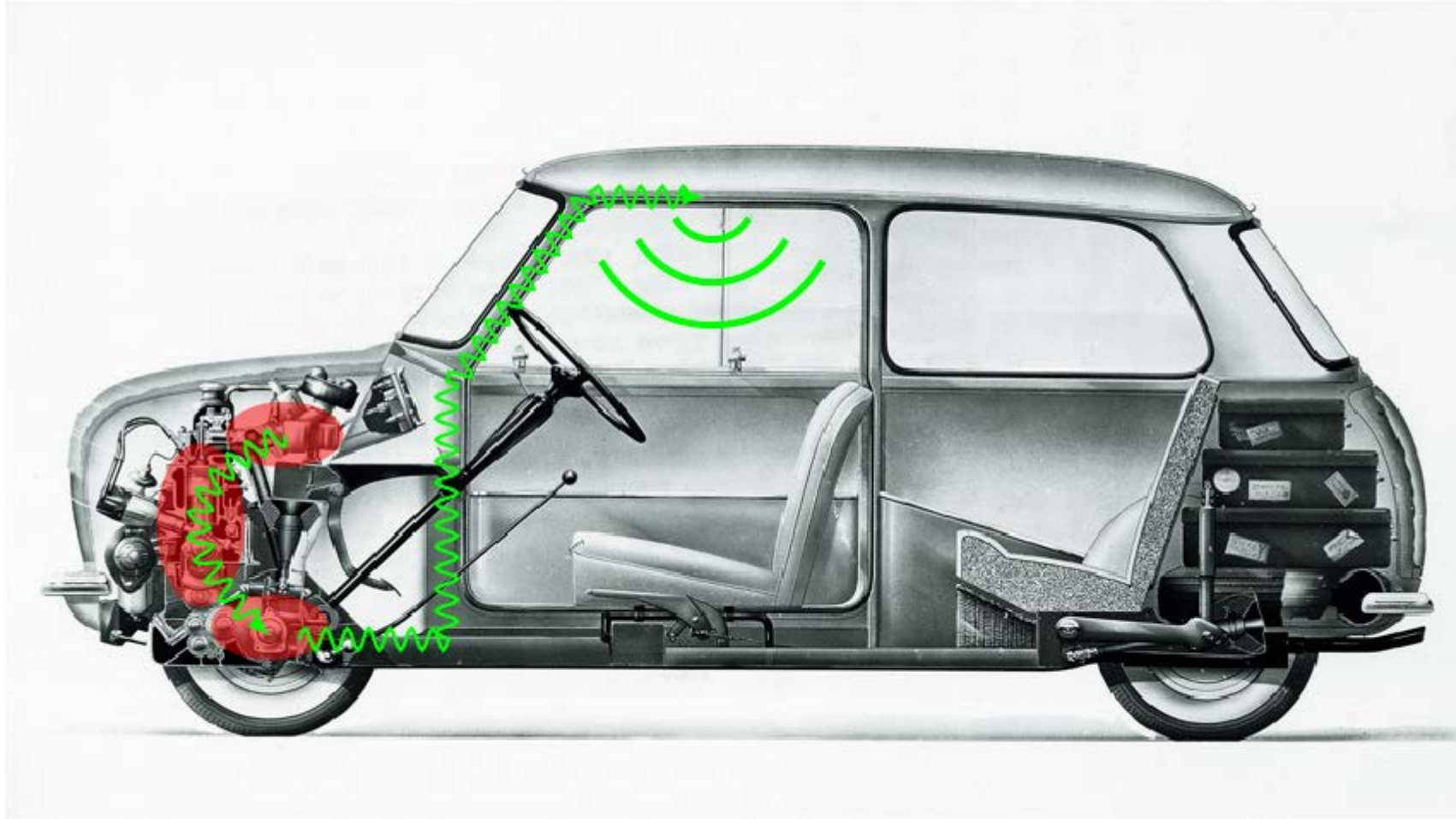
Quelle: DLR

Reduktion der Schallabstrahlung der Frontscheibe durch ASAC (2)



M. Misol, S. Algermissen, H. P. Monner, *Experimental investigation of different active noise control concepts applied to a passenger car equipped with an active windshield*, Journal of Sound and Vibration (2012)

Transmission interner Störquellen in die Fahrgastzelle – *Dachblech*

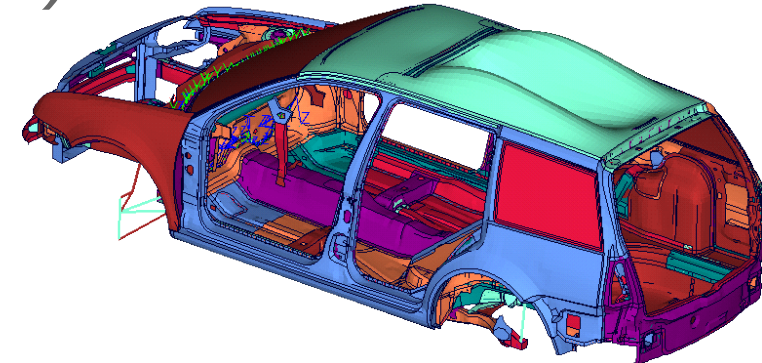


Bildquelle: <http://www.carmagazine.co.uk/CAR-Features-2009/...>
Mini-is-50-a-Mini-celebration-by-CAR-writers-/ (ergänzt durch M. Misol)

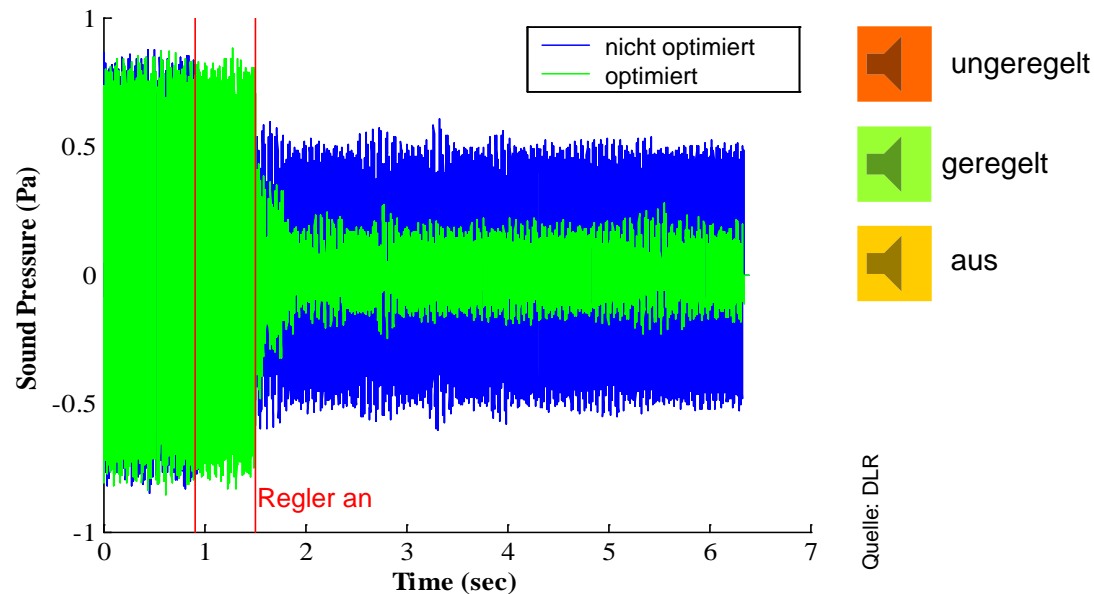
Reduktion des Lärmeintrags des Dachblechs durch *Active Structural Acoustic Control (ASAC)*

- Reduktion der Dachblechschwingungen durch aktive elektromechanische Absorber mit akustischer Zielfunktion
- Applizierte Flächenaktuatoren bewirken Lärminderung mit Schallpegelreduktionen von bis zu 15 dB im Fahrer- und Beifahrerbereich

LEITPROJEKT
ADAPTRONIK



Quelle: Volkswagen

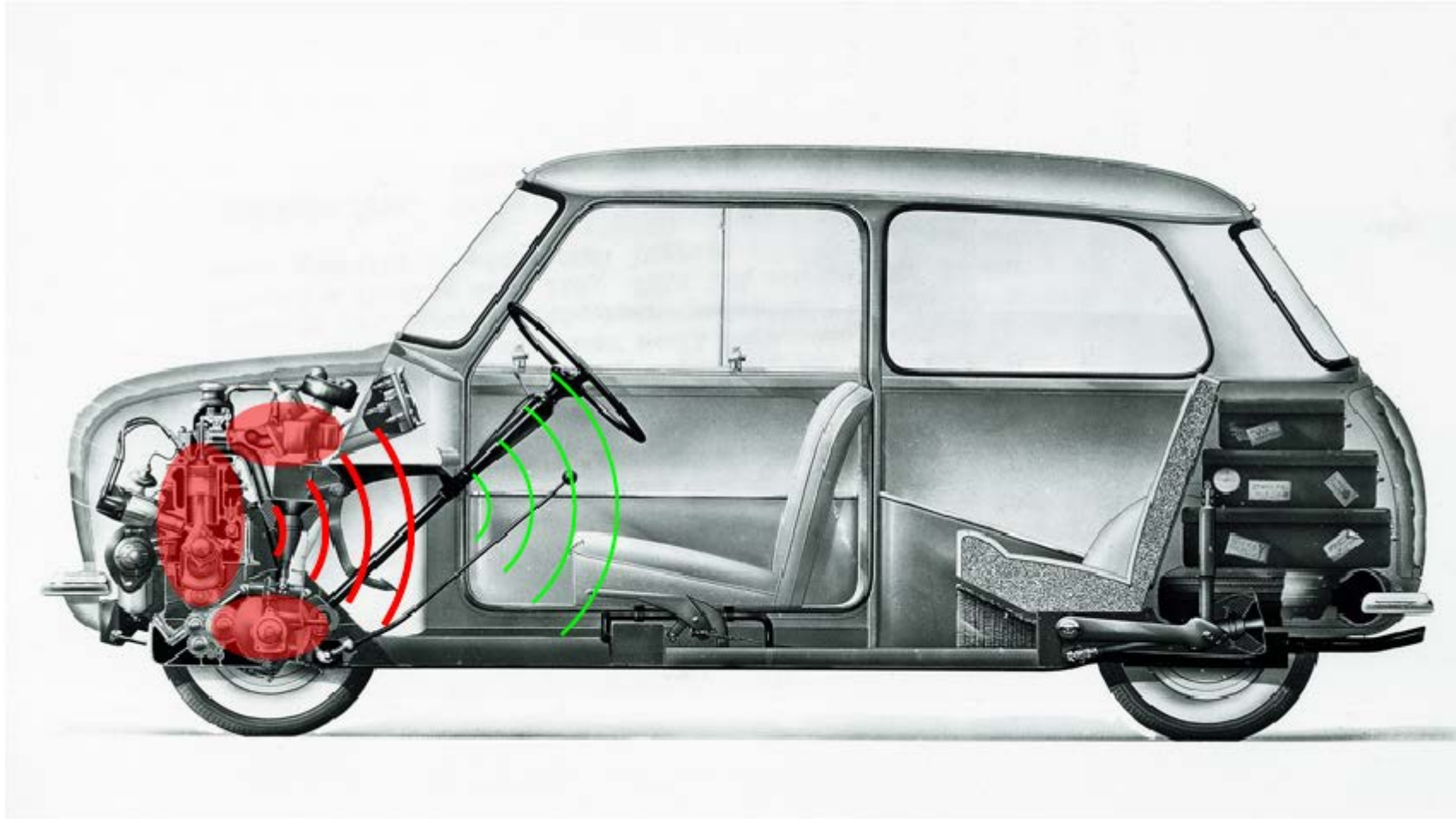


Quelle: DLR



Quelle: DLR

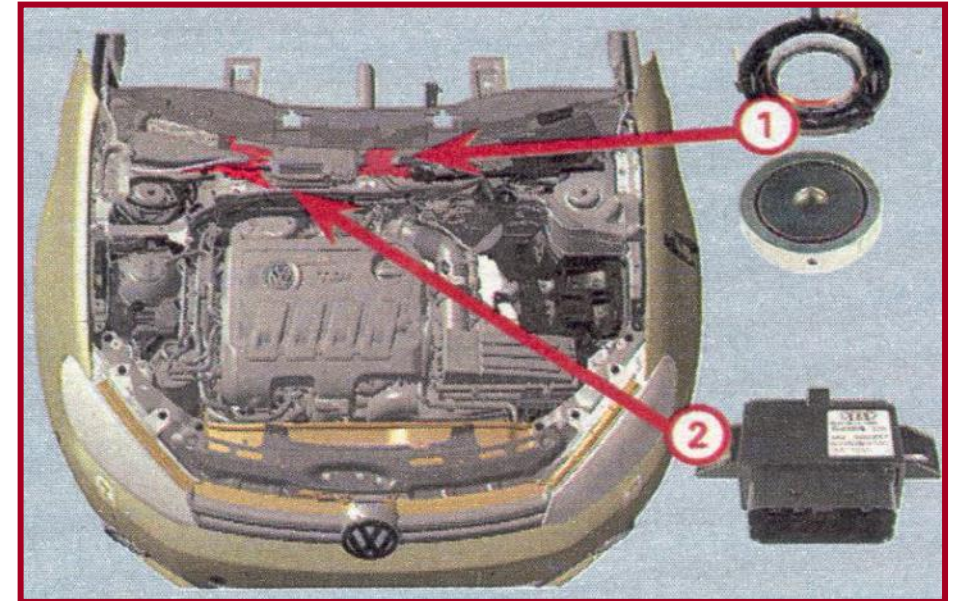
Transmission interner Störquellen in die Fahrgastzelle – *Spritzwand*



Bildquelle: <http://www.carmagazine.co.uk/CAR-Features-2009/...>
Mini-is-50-a-Mini-celebration-by-CAR-writers-/ (ergänzt durch M. Misol)

Reduktion des Lärmeintrags der Spritzwand durch *Active Structural Acoustic Control (ASAC)*

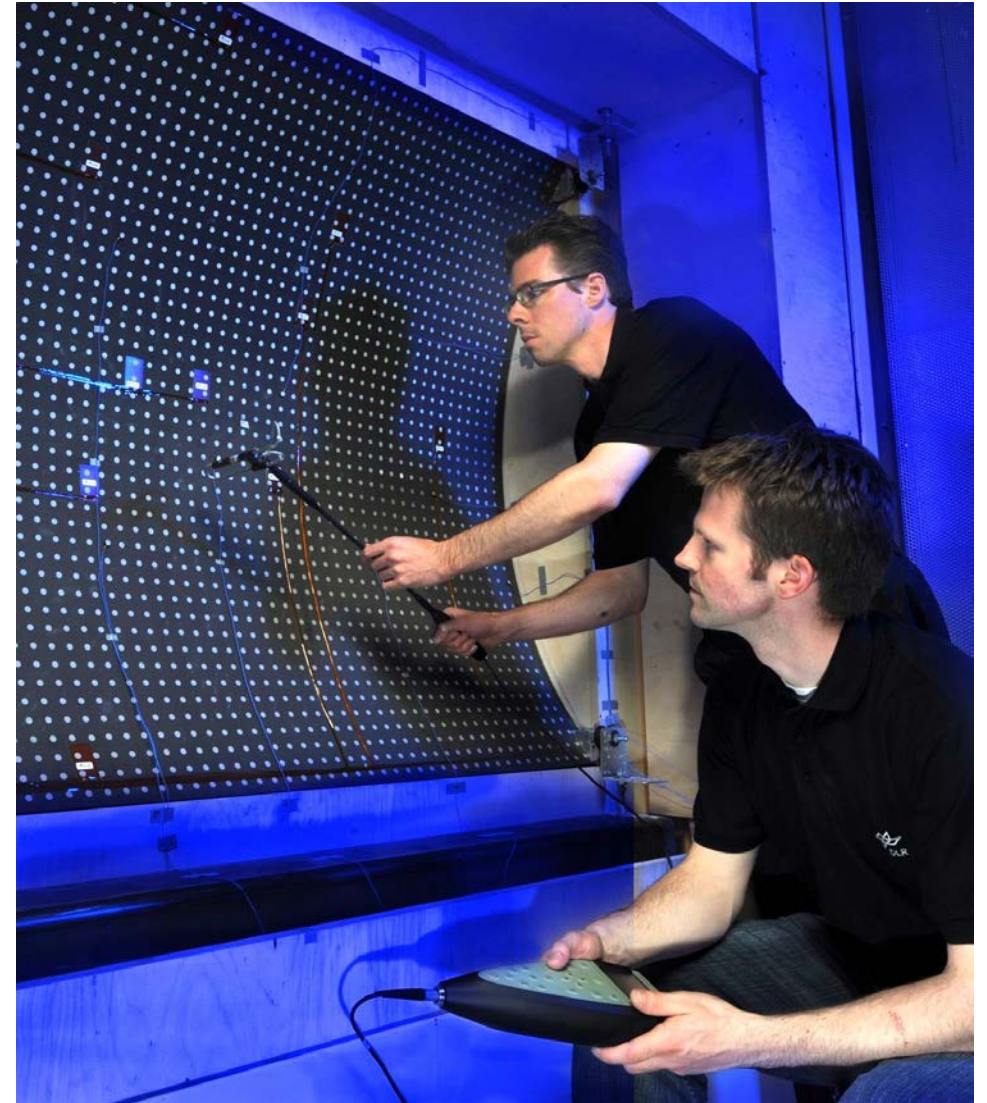
- Erste Produktentwicklungen auf dem Weg zu ASAC im PKW
- Firma: Volkswagen
- Produkt: Aktives System zur Modifikation des Innenraumgeräusches
- Vorstellung mit Einführung des VW Golf VI GTD
- Funktionsprinzip:
 - Schwingteller und –spule (1)
 - Steuergerät (2)
 - Künstlich gebildetes Ansauggeräusch
 - Schwingungserregung von Spritzwand und Scheibenrahmen



Auto-Motor-und-Sport (15/2009)

Gliederung

- Worum geht es?
- Theorie
 - Maßnahmen zur Lärmreduktion
 - Schallabstrahlung und Schalltransmission
 - Aktive Paneele
- Beispiele aus der Anwendungsforschung
 - Automotive
 - Luftfahrt
- Fazit
- Experiment



Smart-Linings als innovative Akustiklösung bei Flugzeugen (1)

Zielsetzung: Verbesserte Schalldämmung bei tiefen Frequenzen ($<1\text{kHz}$)

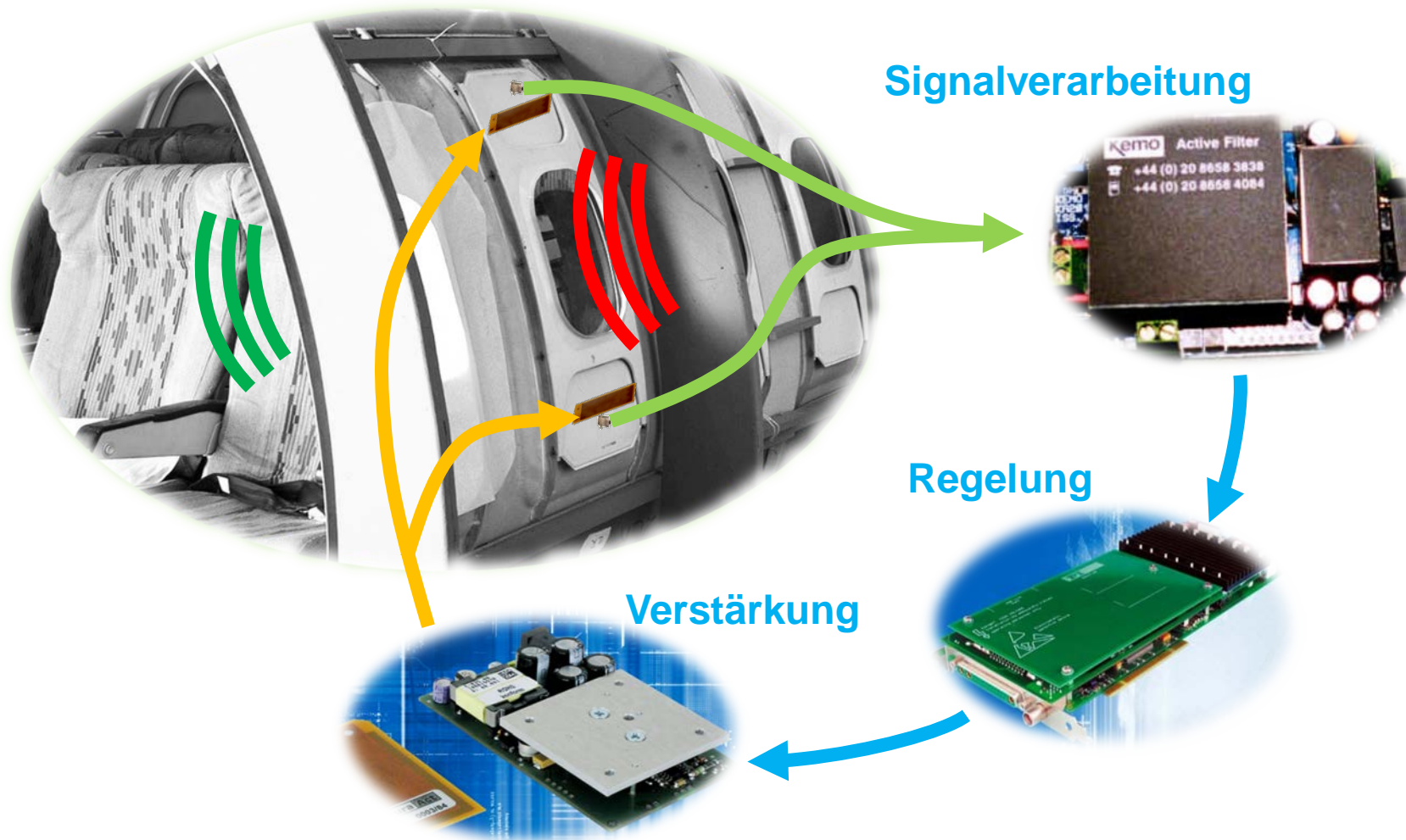
Methode: Unabhängige Lining-Module mit integrierter Struktur-Akustik-Regelung

Mögliche Zusatzoptionen:

- Komfortschall/Psychoakustik
- PA (passenger announcements)
- IFE (in-flight entertainment)
- CRC (crew-rest compartments)

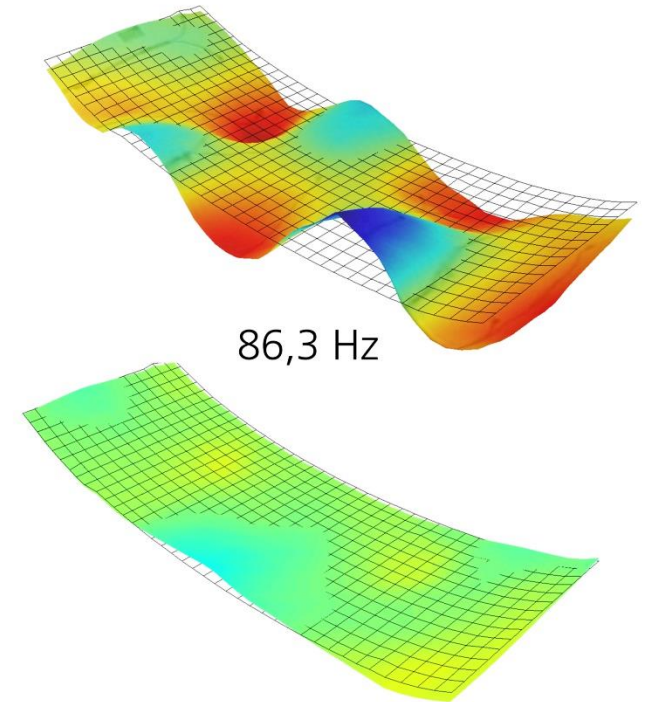


Smart-Linings als innovative Akustiklösung bei Flugzeugen (2)



Smart-Linings als innovative Akustiklösung bei Flugzeugen (3)

- Realisierung eines Smart-Lining-Demonstrators und experimentelle Erprobung im Transmissionsprüfstand
- Erhöhung der Schalldämmung um bis zu 6 dB(A) in Terzen
- Erfolgreicher Konzeptnachweis der Smart-Lining-Technologie am Beispiel eines Spacer-Linings aus der Serienfertigung des Industriepartners Diehl Aircabin.



Gefördert durch:



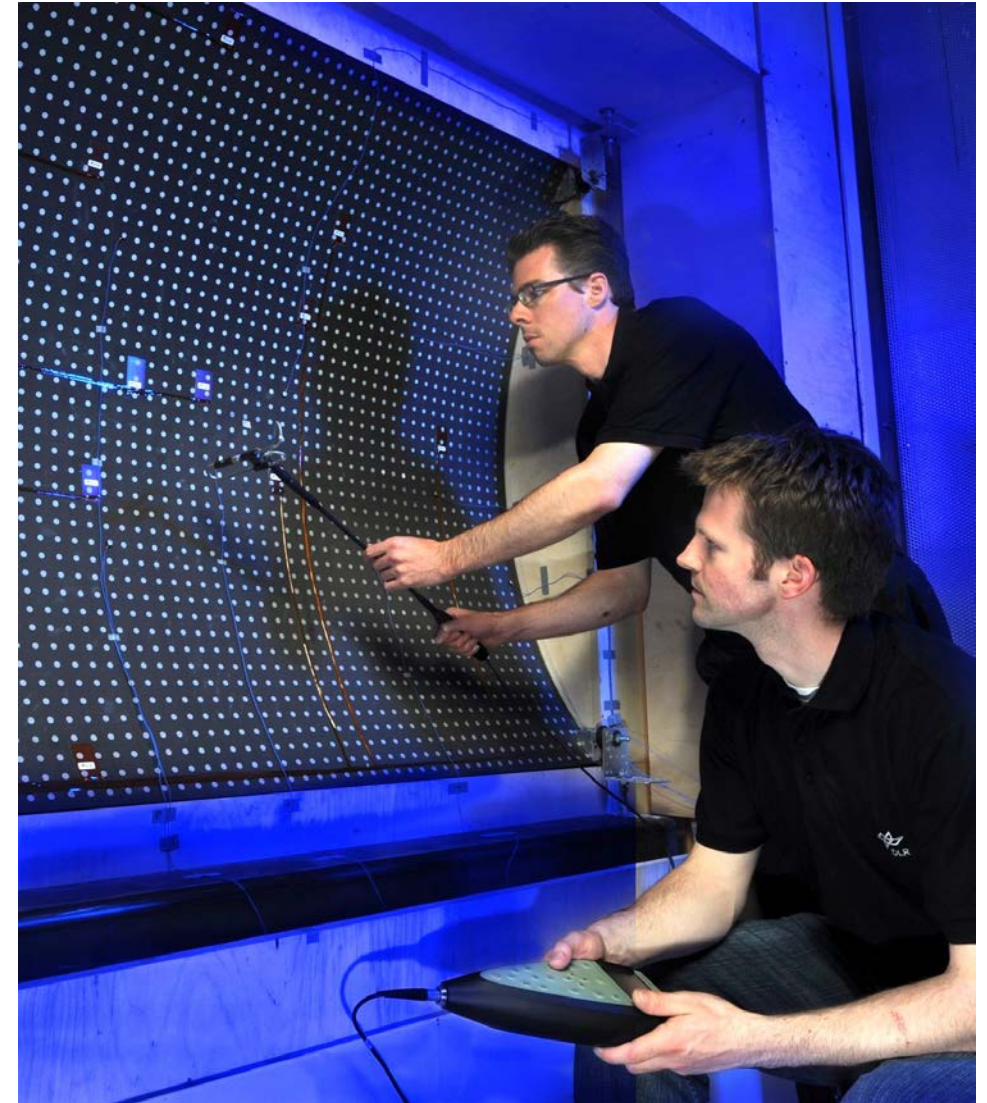
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Dieses Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 20K0806D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Fazit

- Die Lärmproblematik ist von hoher Relevanz
- Flächige Leichtbaustrukturen sind ein kritischer Faktor
- Die aktive Struktur-Akustik-Regelung (ASAC) kann konstruktive/passive Maßnahmen ergänzen oder ersetzen
- Merkmale von ASAC-Systemen
 - Systemkomplexität
 - Flexibilität
 - Adaptivität
- Einsatzfelder für ASAC
 - Fahrzeuge, Flugzeuge, Gebäude, ...
- Notwendige Arbeiten
 - Miniaturisierung, Integration, Kostenoptimierung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr.-Ing. Malte Misol
Prof. Dr.-Ing. Hans Peter Monner
Prof. Dr.-Ing. Michael Sinapius



DLR

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Institut für Faserverbund-
leichtbau und Adaptronik



Technische
Universität
Braunschweig

iaf

Wissen für Morgen

